

# 基于虚拟仪器技术的混合式电流互感器的设计

刘霞忠, 刘会金, 郑小敏, 杨柳

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

**摘要:** 虚拟仪器是电子仪器技术、现代测量技术与计算机技术高速发展的产物,它将逐步取代传统电子仪器。该文介绍了一种新型的采用虚拟仪器技术设计的混合式电流互感器。介绍了虚拟仪器技术的特点和优势,给出了这种互感器的硬件组成、软件设计、主要功能和性能指标,并对其误差进行了分析。这种互感器扩展了测量系统的功能,提高了自动化水平。

**关键词:** 虚拟仪器; 混合式电流互感器; Rogowski 线圈; LabVIEW

**中图分类号:** TM452      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1003-4897(2004)23-0044-05

## 0 引言

电子式电流互感器的研究发展到了今天,其技术已日趋成熟,而计算机和电子技术的迅速发展又使得其研究技术和方法不断变化,本文就介绍了一种新型的基于虚拟仪器技术设计的混合式电流互感器,它充分利用了虚拟仪器灵活、可自定义、具有数据分析功能等特点,可在线实时显示测量结果,可进行数据计算、分析,对于数据还可以编辑、存储、打印,在完善的数据库基础上,还可以实现数据的检索与分析,从而实现整个电力系统的测量联网数字化。

## 1 虚拟仪器技术简介

虚拟仪器系统技术是 20 世纪 90 年代发展起来的科技成果,它是在计算机软硬件技术不断发展和完善的影响下,从智能仪器、PC 仪器发展起来的第 3 代仪器,并且迅速得到广泛的应用。

虚拟仪器与传统仪器一样,可划分成数据采集、数据分析处理、显示结果 3 大功能模块<sup>[1]</sup>,虚拟仪器以透明的方式把计算机资源和仪器硬件的测控能力相结合,实现仪器的功能运作,其典型结构如图 1 所示<sup>[2]</sup>。

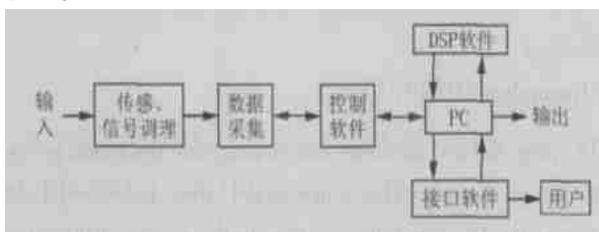


图 1 典型虚拟仪器系统框图

Fig. 1 Block diagram of a typical virtual instrument

虚拟仪器技术的特点是通过数据采集卡将测量

的模拟信号转变成数字信号后,全部用软件代替硬件来实现仪器的各种功能,是一种完全基于计算机的仪器,只要具有一块数据采集卡和一个虚拟仪器软件开发平台,就可以在一台计算机上实现各种传统的仪器功能<sup>[3]</sup>。目前广泛使用的虚拟仪器开发软件是由美国国家仪器公司(National Instrument Co.)开发的LabVIEW系列软件,该软件已经成为虚拟仪器的标准,它的出现被誉为是“21 世纪的技术”和“测控技术的革命”。本设计也是基于 LabVIEW 软件开发平台的。

虚拟仪器技术最大的特点是具有用户自定义功能,通过修改软件就可以改变仪器的功能,避免了硬件的低可靠性和功能固定等问题。随着计算机网络通信技术的飞速发展,虚拟仪器软件又扩充了大量的通信功能,在虚拟仪器上实现远程测量和远程控制已成为一件很容易的事,即软件就是仪器、网络就是仪器<sup>[3]</sup>。

## 2 基于虚拟仪器的混合式电流互感器的原理和结构

基于虚拟仪器技术的混合式电流互感器的结构如图 2 所示。

混合式电流互感器采用 Rogowski 线圈做传感头,利用 Rogowski 线圈测量准确度高,不存在磁饱和、具有良好的线性特性和体积小重量轻等特点<sup>[4]</sup>,根据被测电流的变化,感应出反应被测电流变化的信号。线圈出线端输出感应电势,该电势经过积分器后得到一个与被测电流同相位的电压信号。

信号传输系统采用模拟光纤传输系统,利用光纤具有传输损耗小、重量轻、绝缘性能和温度性能好、不受电磁干扰等优点,把电信号经过调制从光发

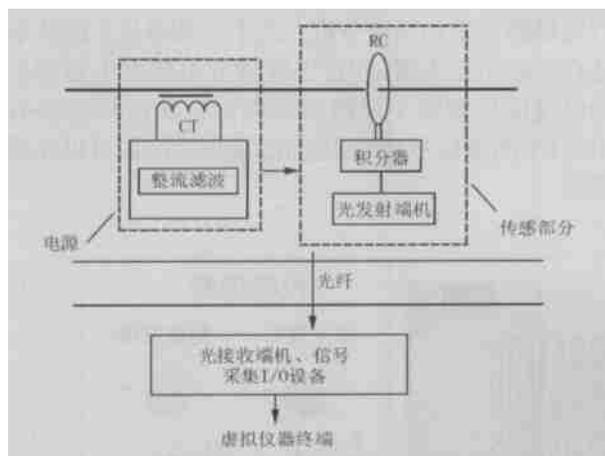


图2 基于虚拟仪器的混合式电流互感器结构框图

Fig.2 Structure of HOCT based on virtual instrument

射端机发射传输给地面接收装置,从而减少电力系统中电磁干扰对测量装置的影响。

光接收端机接收发射端机传送过来的信号,把它解调还原成电信号,经数据采集板卡送入PC机中,虚拟仪器即可对数据进行显示和处理等。

## 2.1 硬件系统设计

### 2.1.1 系统电源

传感头部分使用了许多有源器件,需要为它提供电源。本设计使用CT从母线上感应AC电压,经过整流滤波后输出DC电压供电。由于母线电流不稳定,变化范围大,可能导致CT不能正常工作,故又并联一蓄电池组,在CT正常工作时蓄电池组断开或被充电,CT工作不正常时蓄电池供电。

### 2.1.2 信号调理电路

本设计的信号调理电路由电压跟随电路、有源积分电路和低通滤波器组成。

根据 Rogowski 线圈的特性,被测电流  $i$  和感应电压  $u$  之间存在一个微分关系,为得到正确反应被测电流  $i$  的信号,需要在输出电压后加一个积分电路。根据测量精度的需要,本设计所采用的积分电路为如图3所示的有源积分电路。

### 2.1.3 光发射端机

光发射端机结构如图4所示。电平及阻抗匹配电路将需要传输的信号转变为V/F变换器所需的输入信号,并将传输系统与信号系统隔离开来,以减少传感器对传输系统的影响<sup>[7]</sup>。V/F变换器是光发射端机的核心部分,选用LM331芯片,输出频率精确正比于输入电压,变换精度达到0.01%,输出

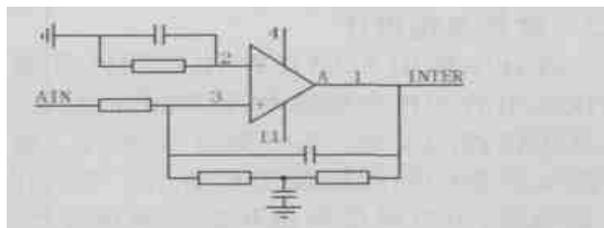


图3 有源积分电路

Fig.3 Active power integral circuit

范围为1 Hz到100 kHz。发光二极管LED作为信号光源,在驱动电流为50 mA<sub>P-P</sub>、调制为0.75时,调制信号频率可高至50 MHz,总谐波失真低于-40 dB,完全可以满足短距离传输系统的要求。

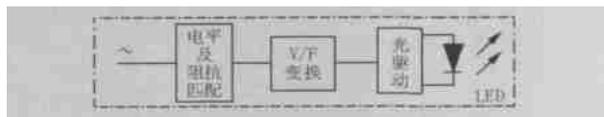


图4 光发射端机结构

Fig.4 Structure of light transmitter

### 2.1.4 光接收端机

光接收端机结构如图5所示。利用前置放大电路放大接收过来的光电信号,通过F/V变换器和低通滤波器还原出发射端机的输入信号。F/V变换器仍选用LM331芯片。均衡器的作用是进行电压匹配和频率补偿,以减少系统的非线性失真。光电检测器使用PIN光电二极管,其响应时间少于1 ns,且具有十分宽的频率响应范围。

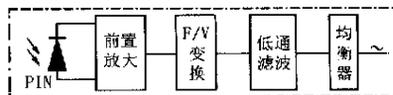


图5 光接收端机结构

Fig.5 Structure of light receiver

### 2.1.5 数据采集卡

选用美国NI公司生产的适用于PC、AT及其兼容机的Lab-PCI-1200数据采集卡,它具有模拟输入/输出、数字输入/输出、定时/计数等多种功能。该数据采集卡包括8条模拟输入通道,可根据用户的需要将其配置成8条单端输入通道或4对差分输入通道;包括12位逐次逼近式A/D转换器;包括3个8位的TTL电平数字输入输出端口;包括3个16位用于定时输入输出的定时/计数器。它允许用户使用软件对DMA、中断请求、基本输入输出地址进行设置,避免与计算机中其他硬件设备发生资源冲突,是一个真正的免跳线、即插即用式数据采集板<sup>[9]</sup>。

## 2.2 软件系统设计

设计中使用 LabVIEW 作为软件开发平台。虚拟仪器由前面板和框图程序两部分组成。前面板如同真实仪器的外观,是可交互式界面。虚拟混合式电流互感器的前面板如图 6 所示。它提供 4 个信号采集通道,可以保存数据和显示测量波形,还可以进

行波形的调整和频谱分析。图中示波器显示的波形是在实验刚投入测试时,连续调节电流发生器输出的电流信号的频率所测得的波形。从波形可以看出,对于测量信号频率的变化,虚拟示波器可以连续反应。

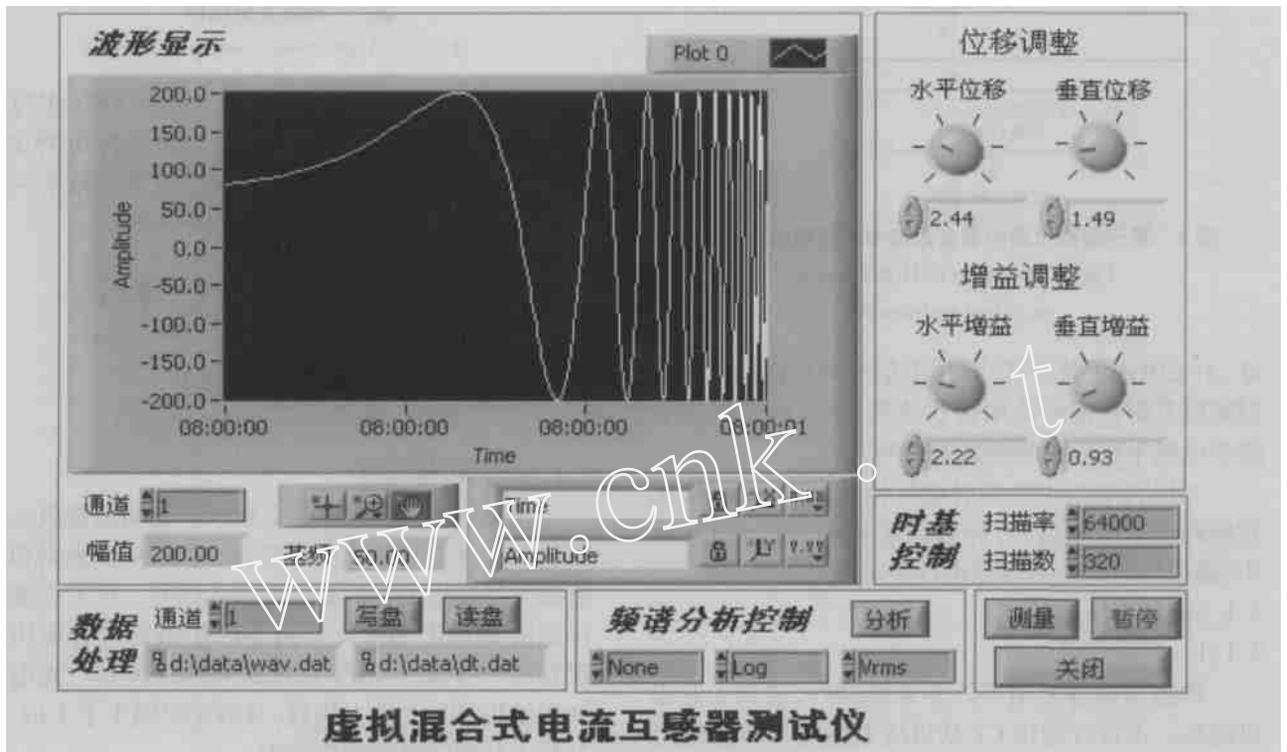


图 6 虚拟混合式电流互感器前面板

Fig. 6 The front panel of virtual HOCT

框图程序是虚拟仪器的核心部分,虚拟仪器主要由它来完成数据的采集、处理和显示。本系统框图程序主要包括数据采集、波形显示、参数测量、频谱分析和波形存储及回放等 5 大功能模块。图 7 即是数据采集和波形显示模块的框图程序。在对 Rogowski 线圈的外积分特性进行标定后,鉴于 Rogowski 线圈的线性关系即可得到一个标定因素。采集过来的信号与该标定因素相乘就能得到被测电流信号的实际值。

## 3 仪器的主要功能、性能指标、误差分析及其解决办法

基于虚拟仪器技术的混合式电流互感器的主要功能是测量高压母线上的电流,实现被测电流波形的实时显示,还能进行数据分析处理等。其主要性能指标有:

1) 精确度。该仪器的精确度主要取决于传感

头 Rogowski 线圈的性能和采集卡的 A/D 转换精度。实验中设计了两个 Rogowski 线圈,当它与有源积分器连接,50 Hz 时的相角差为  $-0.0018$  (rad),合  $0.1^\circ$ ,比值差为  $0.005\%$ ,这对于整个系统来说是可以忽略的。本设计采用的 Lab - PCI - 1200 数据采集卡具有 12 位的数据精度,单通道最高采样速率达 100 kHz,完全满足测量仪器的要求。

2) 量程。虚拟仪器的量程理论上是不受限制的,但由于传感头硬件部分的局限性,根据有源积分器的电路参数的设置,本仪器所能测试的范围为  $0 \sim 2\,000$  A。

3) 功能。由于虚拟仪器是可交互式可自定义的,该虚拟仪器除了能实时显示被测电流的波形及大小和进行数据分析处理外,使用者还可以更改程序和接线,把它设计成虚拟电流互感器校验仪,进行电流互感器的校验,显示其比值差和相角差、绘制比值差和相角差曲线<sup>[10]</sup>。

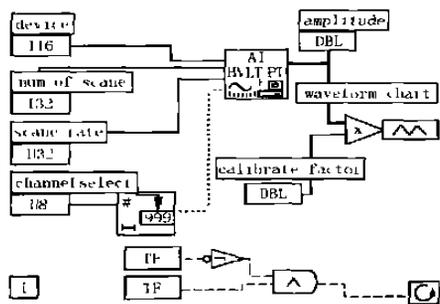


图7 数据采集和波形显示框图程序

Fig. 7 The block diagram program of data acquisition and wave display

本虚拟测试仪器的误差来源主要有以下几种:

- 1) 由于传感头采用 Rogowski 线圈,它是靠电磁感应原理来测量电流的,且灵敏度较高,故易受外界磁场的干扰,给测量带来误差。
- 2) 光纤传输系统采用模拟传输方式,对传输系统的信噪比和线性性能要求较高,这些都会给测量带来误差。
- 3) 信号采集和 A/D 转换会给测量带来误差。
- 4) 传感头放置的环境温度的变化会给测量带来误差。

针对各种可能产生的误差,可采取一些有效措施予以减少,如:把 Rogowski 线圈装置在铁屏蔽盒内,尽量让被测电流穿过线圈中心,且与线圈轴线平行对称地通过线圈;把包括 Rogowski 线圈、CT 在内的传感和电源部分用屏蔽盒封装起来,屏蔽外界电磁场的干扰,屏蔽盒的设计还能起到防止器件遭受日晒和风吹雨打、减小盒内温度变化的作用,保护硬件设备;选用大功率半导体发光二极管作模拟光纤传输系统的光源;选用性能更优越的数据采集卡;提高硬件设备的性能、抗干扰能力和稳定性等。

#### 4 结束语

电子式电流互感器是现代研究的热点,具有广阔的发展前景。本文所设计的基于虚拟仪器技术的混合式电流互感器是一种新型的电子式电流互感器,它把虚拟仪器技术应用到混合式电流互感器中,可用于测量母线电流,实时显示测量信号的参数和波形,可对测量数据进行分析、存储等处理。与传统的 CT 相比较,采用 Rogowski 线圈做传感头,有着明显的优点:它绝缘结构简单、体积小、重量轻、无铁磁饱和、可靠性高、灵敏度高、测量范围大、频带宽。在与虚拟仪器技术相结合后,优点更加突出:虚拟仪器

是基于计算机技术的开放灵活的功能模块,用户可自定义接口,通过不同功能模块的组合可构成多种仪器,实现自动测量,能方便地实时显示测量波形,能进行数据分析和处理,LabVIEW 软件还能与 Matlab、C 语言接口,通过利用 Matlab 强大的数值分析处理能力和调用 C 语言的图标,虚拟仪器技术将更加完善。况且,在信息化要求不断提高的今天,网络技术应用到虚拟仪器领域中已是虚拟仪器发展的大趋势,使用网络化的虚拟仪器,可在任何地点、任意时刻获取测量数据,实现资源共享<sup>[9]</sup>。虚拟仪器技术将是未来测量技术发展的新方向。

#### 参考文献:

- [1] 杨乐平,李海涛,肖相生,等(YANG Le-ping, LI Hai-tao, XIAO Xiang-sheng, et al). LabVIEW 程序设计与应用(Program Design and Application of LabVIEW) [M]. 北京:电子工业出版社(Beijing: Publishing House of Electronics Industry), 2001.
- [2] Chen B, Shang Q F. Study on a New Optoelectronic Current Transformer [J]. IEEE Power System Technology, 2002, (2): 1105-1109.
- [3] 杨子强,任峰,艾欣(YANG Zi-qiang, REN Feng, AI Xin). 基于虚拟仪器技术的电流互感器校验仪(Current Transformer Calibrator Based on Virtual Instrument Technology) [J]. 电测与仪表(Electrical Measurement & Instrument), 2002, 39(12): 33-35.
- [4] 乔卉,刘会金,王群峰,等(QIAO Hui, LIU Hui-jin, WANG Qun-feng, et al). 基于 Rogowski 线圈传感的光电电流互感器的研究(The Research of Optical Current Transducer Based on Rogowski Coils) [J]. 继电器(Relay), 2002, 30(7): 40-43.
- [5] 艾欣,杨以涵,周孝信(AI Xin, YANG Yi-han, ZHOU Xiao-xin). 虚拟仪器技术及其在电力系统中的应用(Virtual Instrument Technology and Its Application to Power System) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2001, 25(15): 54-57.
- [6] 邓振杰,齐建玲,李广川,等(DENG Zhen-jie, QI Jian-ling, LI Guang-chuan, et al). 基于 LabVIEW 构建虚拟仪器系统(Constructing Virtual Instrument System Based on LabVIEW) [J]. 华北航天工业学院学报(Journal of North China Institute of Astronautic Engineering), 2001, 3(11): 10-17.
- [7] 关荣峰,李宝华,叶嘉雄(GUAN Rong-feng, LI Bao-hua, YE Jia-xiong). 模拟光纤数据传输系统的研究(Study of Analogy Optical Fiber Transmission System) [J]. 焦作工学院学报(Journal of Jiaozuo Institute of Technology), 1996, 5(15): 69-72.
- [8] 黄洪涛,聂再清,张培亮(HUANG Hong-tao, NIE Zai-qing, ZHANG Pei-liang)

- qing, ZHANG Pei-liang). 高精度模拟光纤传输系统 (High Precision Analogy Optical Fiber Transmission System) [J]. 光通信技术 (Optical Communication Technology), 1998, 3(22):233-237.
- [9] 刘君华, 郭会军, 赵向阳, 等 (LIU Jun-hua, GUO Hui-jun, ZHAO Xiang-yang, et al). 基于 LabVIEW 的虚拟仪器设计 (Design of Virtual Instrument Based on LabVIEW) [M]. 北京: 电子工业出版社 (Beijing: Publishing House of Electronics Industry), 2003.
- [10] 申焯, 梅自刚, 赵伟, 等 (SHEN Zhu, MEI Zi-gang, ZHAO Wei, et al). 虚拟仪器技术在电子式电流互感器研制中的应用 (Virtual Instrument Technology in Electronic Current Transformer) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2003, 27(11):53-55.
- [11] Teng J H, Chan S Y. A LabVIEW Based Virtual Instrument for Power Analyzers [J]. IEEE Power System Technology, 2000, (1):179-184.

收稿日期: 2004-03-25; 修回日期: 2004-04-28

作者简介:

刘霞忠 (1979 - ), 男, 硕士研究生, 从事电力系统自动化方面的研究; E-mail: strawtail @163.com

刘会金 (1952 - ), 男, 教授, 博导, 从事电力系统稳定、继电保护自动化方面的研究;

郑小敏 (1979 - ), 男, 硕士研究生, 从事电力系统自动化方面的研究。

### Design of hybrid optoelectronic current transformer based on virtual instrument technique

LIU Xia-zhong, LIU Hui-jin, ZHENG Xiao-min, YANG LIU

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** Virtual instrument is the product of fast development of modern technology. It will gradually replace the conventional electronic instrument. Based on the virtual instrument technique, this paper develops a novel hybrid optoelectronic current transformer. The characteristic of virtual instrument, the structure of the HOCT, software design, main function, performance index and error analysis are introduced. The transformer expounds the function of measurement system and enhances the test automatization.

**Key words:** virtual instrument; HOCT; Rogowski coils; LabVIEW

### 许继 750 kV 继电保护装置通过部级技术鉴定

11月21日, 国家电网公司在许昌组织召开了许继集团 750 kV 继电保护装置技术鉴定会。会上, 许继研制的 WKB - 800/750 微机电抗器保护装置、WXH - 800/750 微机线路保护装置、WBH - 800/750 微机变压器保护装置和 WMH - 800/750 微机母线保护装置等 4 种新产品全部通过部级技术鉴定, 主要性能指标达到国际同类产品的先进水平。

技术鉴定委员会由华东电力设计院、清华大学、国家电网公司、中国电力科学研究院、西北电网公司、国调中心、西安交大、西北电力设计院、华中电力调度中心、国家继电器质量监督检验中心和河南省电力公司中调等单位的领导和专家组成。

鉴定委员会先后听取了研制报告、技术报告、查新报告、动模和数模试验报告, 审查了技术资料, 进行了现场测试。最后经过认真讨论, 一致认为:

许继研制的 WKB - 800/750 微机电抗器保护装置、WXH - 800/750 微机线路保护装置、WBH - 800/750 微机变压器保护装置和 WMH - 800/750 微机母线保护装置等 4 种新产品技术资料齐全、完整、正确, 符合鉴定要求; 4 种保护装置全部采用先进成熟的软硬件平台技术, 保护动作可靠、速度快、灵敏度高, 抗区外故障 CT 饱和能力强。保护装置先后经过中国电力科学研究院的动模试验、国家继电器质量监督检验中心的数模试验, 并经鉴定委员会现场测试, 结果符合标准规定, 满足电力系统使用要求。鉴定委员会认为, 上述 4 种保护装置设计合理, 其主要性能指标全部达到国际同类产品的先进水平, 一致同意通过技术鉴定。